

深圳福田白骨壤群落 Cr、Ni、Mn 的累积及分布*

郑文教 林 鹏 (厦门大学环境科学研究中心, 厦门 361005)

【摘要】 探讨了深圳福田自然保护区白骨壤红树林对 Cr、Ni、Mn 的吸收、累积及分布。结果表明, 该林地土壤 Cr、Ni、Mn 含量从底层至表层逐步提高; 表层(0~30 cm 深)3 种元素含量分别为 7.97 、 25.0 和 $537 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, 贮量分别为 1099.86 、 3450.00 和 $74106.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。白骨壤植物各部位 Cr、Ni、Mn 含量范围分别为 $0.28 \sim 0.75$ 、 $0.43 \sim 7.65$ 和 $25 \sim 1552 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$; 植物对表层土壤加权平均富集系数为 $\text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cr}$ 。该群落 Cr、Ni、Mn 的现存累积量分别为 6.06 、 20.76 和 $1631.17 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, 年净存留累积量分别为 0.43 、 1.43 和 $107.98 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$; 林地残留物相应元素储量分别为 Cr $78.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、Ni $1536.33 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 Mn $405.54 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。该林区 3 种不同类型群落叶层 Cr、Ni 现存累积量为白骨壤林 > 桐花树林 > 秋茄林, Mn 为秋茄林 > 白骨壤林 > 桐花树林。

关键词 红树林 重金属 深圳福田

Accumulation and distribution of Cr, Ni and Mn in *Avicennia marina* mangrove community at Futian of Shenzhen. Zheng Wenjiao and Lin Peng (Research Center for Environmental Science, Xiamen University, Xiamen 361005). -Chin. J. Appl. Ecol., 1996, 7(2): 139~144.

The accumulation and distribution of Cr, Ni and Mn in *Avicennia marina* mangrove community at Futian Mangrove Nature Reserve of Shenzhen are studied. The results show that the Cr, Ni and Mn contents in forest soil are increased from bottom to surface layer, and in the surface layer (depth 0~30 cm), their contents are 7.97 , 25.0 and $537 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ and storages are 1099.86 , 3450.00 and $74106.00 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively. Cr, Ni and Mn contents in different parts of the plant are $0.28 \sim 0.75$, $0.43 \sim 7.65$ and $25 \sim 1552 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$, and their storages in the community are 6.06 , 20.76 and $1631.17 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively. The accumulation index of plant to soil is in the order of $\text{Mn} > \text{Ni} > \text{Cr}$. The annual net retention accumulation of Cr, Ni and Mn in the community is 0.43 , 1.43 and $107.98 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively. The storage of the elements in residues is $78.00 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ for Cr, $1536.33 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ for Ni and $405.54 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$ for Mn. The Cr, Ni and Mn storages in leaves of various types of communities are in the order of *Avicennia marina* > *Aegiceras corniculatum* > *Kandelia candel* for Cr and Ni, and *K. candel* > *A. marina* > *A. corniculatum* for Mn.

Key words Mangrove, Heavy metal, Futian of Shenzhen.

1 引 言

红树林是热带、亚热带海岸潮间带的木本植物群落, 在河口生态系统中占有十分重要的地位^[3~6, 9, 10]。深圳河口-深圳湾的湿地生态系统是华南地区具有国际意义

的重要生态系统之一, 其核心部分是香港一侧米埔和深圳一侧福田 2 个红树林自然保护区。该区域为许多珍稀和濒危生物种提供栖息、繁衍和觅食场所, 特别是大量的

* 国家自然科学基金资助项目。

1995 年 5 月 3 日收到, 9 月 29 日改回。

水鸟和候鸟. 随着深、港两岸的发展, 大量的泥沙及未经处理的废水经深圳河及沿岸排入深圳湾, 造成淤积和生态环境的污染. 本文探讨福田保护区典型红树群落对重金属 Cr、Ni、Mn 的吸收、累积及分布, 为红树林生态系统的保护和管理提供科学依据.

2 研究地概况与研究方法

2.1 样地概况

福田保护区红树林位于深圳湾的东北部, 沿海岸呈带状分布, 长达 11 km, 林带宽几十至 200 m 不等. 该地区濒临热带海洋, 属亚热带季风气候. 研究地点位于该保护区管理处车公庙观鸟亭林区. 该地段林带宽 120 m, 中潮滩为白骨壤 (*Avicennia marina*) 纯林, 周缘为秋茄 (*Kandelia candel*) 林和桐花树 (*Aegiceras corniculatum*) 林分布. 样地是中潮滩的白骨壤纯林, 林冠高 6.5~7.0 m, 叶面积指数 4.5, 郁闭度 0.9, 平均胸径 9.2 cm, 平均树龄 56 a 生, 平均密度 16 株 · 100 m⁻², 树木分布均匀. 林相整齐, 灰绿色. 林地受潮汐周期淹没, 淤泥深厚, 土壤无结构, 表土含盐量 14.4‰ (表 1).

表 1 白骨壤林地土壤的理化特性
Table 1 Physical and chemical feature of soil in *Avicennia marina* forestland

土 层 Soil layer (cm)	pH	盐 度 Salinity (‰)	容 重 Bulk weight (g · cm ⁻³)
表层 Surface layer (0~30)	5.30	14.48	0.460
中层 Middle layer (30~60)	6.58	18.21	0.618
底层 Bottom layer (60~90)	7.14	19.28	0.640

2.2 分析方法

1994 年 3 月于白骨壤林地, 采用样方法计算种群密度, 逐株测定树高和胸径, 求得平均标准木并砍伐标准木 2 株, 进行树干解析, 挖取 2 个 1

表 2 白骨壤林地土壤 Cr、Ni、Mn 的含量及贮量
Table 2 Content and storage of Cr, Ni and Mn in soil of *Avicennia marina* forestland

土 层 Soil layer (cm)	含量 Content (μg · g ⁻¹)			贮量 Storage (mg · m ⁻²)		
	Cr	Ni	Mn	Cr	Ni	Mn
表层 Surface layer (0~30)	7.97	25.0	537	1 099.86	3 450.00	74 106.00
中层 Middle layer (30~60)	6.66	19.3	464	1 235.36	3 579.96	86 067.36
底层 Bottom layer (60~90)	6.05	18.4	408	1 161.60	3 532.80	78 336.00

m × 2 m、深 0~100 cm 的地下根系, 求得生物量. 从标准木中求出当年材积的年生长量与总干材的总量比, 推算各组分 1993 年的年生长量^[2,7]. 生物量分别按叶、花、幼枝、多年生枝、枯枝、树干材、树干皮、地上呼吸根、大根 (d ≥ 2 cm)、中根 (榄状根 2> d> 0.2 cm)、细根 (d < 0.2 cm) 和小苗等组分计量. 同时, 采用样方法测定 4 个 1 m × 1 m 林地残留物量和白骨壤林周缘的秋茄林和桐花树林单位面积叶生物量. 以上各项分别取样测定含水量和样品分析样. 分析样 105 杀青 15 min, 60 烘干. 土壤按分层采样法, 分别采集 0~30、30~60 和 60~90 cm 土样, 60 烘干.

各样品用玛瑙研钵磨粉过 100 号尼龙筛. 粉样经 HNO₃-HClO₄ 消化, 用 WFX-1B 型原子吸收分光光度计火焰法测定 Mn 和石墨炉法测定 Cr、Ni 含量. 土壤盐度采用 AgNO₃ 滴定法, 土壤 pH 用电位法测定, 水土比为 5:1^[11].

3 结果与讨论

3.1 林地土壤 Cr、Ni、Mn 含量及贮量
从表 2 可知, 深圳福田白骨壤林地不同层次土壤 Cr、Ni、Mn 含量均为表层> 中层> 底层, 即从底层至表层含量逐步提高, 表层的含量分别比底层高 28.8%、35.9% 和 31.6%. 上层含量较高, 可能在于生境受污染之故. 由于目前海洋沉积物中的污染物尚无统一适用的评价标准, 因而对该林区受重金属的污染程度难以作确切的评价. 与广西英罗湾红海榄 (*Rhizophora stylosa*) 红树林区相比, 该林区表土 (0~30 cm 深) Ni、Mn 含量分别比英罗湾红海榄林区表土 (含量分别为 14.6 和 89.5 μg

· g⁻¹)¹⁾ 高 71.2% 和 498.7%, 而 Cr 含量则低于英罗湾(表土含量 9.27μg · g⁻¹)²⁾ 16.3%. 根据土壤元素含量结合土壤容重计算, 该林区表层土壤 Cr、Ni、Mn 贮量分别为 1 099.86、3 450.00 和 74 106.00 mg · m⁻²; Cr、Mn 贮量为中层略多于底层略多于表层, Ni 为中层与底层贮量相近而略多于表层(表 2).

3.2 白骨壤植物体 Cr、Ni、Mn 含量及富集系数

3.2.1 植物体各部位元素含量 从图 1 可以看出, 白骨壤植物各部位 Cr、Ni、Mn 含量大都有明显差异, 含量范围分别为 0.28 ~ 0.75、0.43 ~ 7.65 和 25 ~ 1 552 μg · g⁻¹, 加权平均分别为 0.37、1.25 和 95 μg · g⁻¹, 元素含量 Mn > Ni > Cr, 这与土壤含量 Mn > Ni > Cr 相一致. 从植物体各部位看, 细根及呼吸根元素含量均居最高或其次, 树干材居最低, 如树干材 Cr、Ni 含量分别仅为细根含量的 36.7% 和 5.6%, Mn 含量仅为呼吸根含量的 1.7%, 表明植物体不同部位 Cr、Ni、Mn 含量高低差异依次为 Mn > Ni > Cr; 最大的累积部位是细根和呼吸根, 树皮(及 Mn 在叶片)也有较大的累积. 从图 1 也可以看出, 从细根 中根 大根, 元素含量迅速降低, 如中根和大根 Mn 含量仅是细根含量的 14.5% 和 4.1%. 细根是植物的主要吸收器官, Cr、Ni、Mn 含量显著高于其他部位, 表明细根吸收重金属可能大部份仍停留于根的外皮层之外, 呼吸根此 3 种元素含量也显著较高, 其原因尚待探讨.

3.2.2 植物对土壤元素的富集系数 植物对土壤元素的吸收富集能力, 可以用富集系数来表示, 即植物体内某元素的含量与该元素在土壤中含量的比值. 本文仅讨论在现状生境综合条件下植物对土壤全量的富集系数. 从表 3 可知, 深圳福田白骨壤植

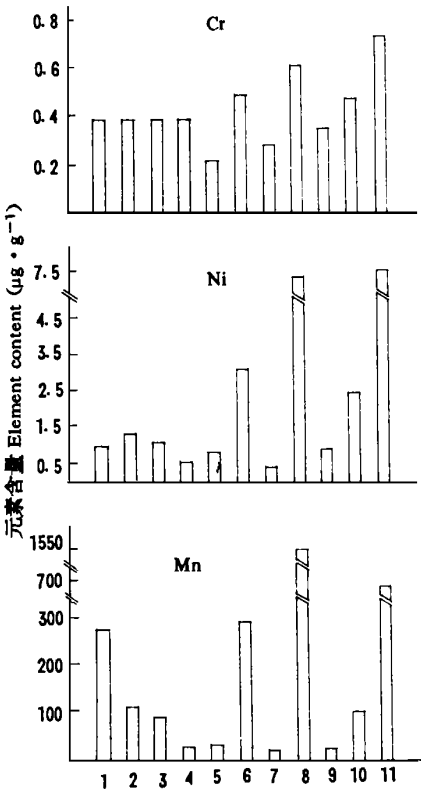


图 1 Cr、Ni、Mn 在白骨壤植物体不同部位中的含量
Fig. 1 Content of Cr, Ni and Mn in different parts of *Avicennia marina*.
1. 叶 Leaf, 2. 花 Flower, 3. 幼枝 Twig, 4. 多年枝 Perennial branch, 5. 枯枝 Dead branch, 6. 树干皮 Trunk bark, 7. 树干材 Trunk wood, 8. 呼吸根 Pneumatophore, 9. 大根 Big root, 10. 中根 Middle root, 11. 细根 Fine root.

物对表土 Cr、Ni、Mn 加权平均富集系数为 Cr 与 Ni 相近, 在 0.05 水平, Mn 则约为前二者的 4 倍, 在 0.2 水平, 对植物体不同部位, Cr 在 0.03 ~ 0.1、Ni 在 0.02 ~ 0.3 和 Mn 在 0.05 ~ 3.0 水平, 其中树干皮、呼吸根和细根各元素富集系数为 Mn > Ni > Cr, 其余组分均为 Mn > Cr > Ni(多年枝 Mn > Cr). 这一结果表明, 在该生境综合条件下, 白骨壤植物整体对 Cr、Ni 的吸收富集能力相近, Mn 则显著大于 Cr、Ni; 不同部位对各元素富集能力具有一定的差异.

1) 郑文教等. 厦门大学学报, 待发表.
2) 郑文教等. 植物生态学报, 待发表.

表 3 白骨壤植物对土壤(0~30 cm 深)的富集系数

Table 3 Accumulation index of *Avicennia marina* to soil (depth 0~30 cm)

元素 Ele- ment	叶 Leaf	花 Flower	幼枝 Twig	多年枝 Perennial branch	树干材 Trunk wood	树干皮 Trunk bark	呼吸根 Pneuma- tophore	大根 Big root	中根 Middle root	细根 Fine root	加权平均 W eigh ted average
Cr	0.049	0.050	0.050	0.049	0.035	0.063	0.079	0.045	0.061	0.096	0.047
Ni	0.039	0.047	0.043	0.022	0.017	0.125	0.298	0.035	0.099	0.306	0.051
Mn	0.510	0.197	0.165	0.046	0.049	0.534	2.890	0.053	0.186	1.279	0.189

3.3 白骨壤群落 Cr、Ni、Mn 累积及分布

3.3.1 群落 Cr、Ni、Mn 现存累积量及分布

从表 4 可知,该群落 Cr、Ni、Mn 现存累积量分别为 6.06、20.76 和 1631.17 mg·m⁻²,其中地上部分别占 60.2%、44.5%和 66.2%,即 Cr、Mn 为地上部> 地下部, Ni 则为地下部> 地上部。从群落不同组分的

表 4 白骨壤群落 Cr、Ni、Mn 的现存累积量及分布

Table 4 Accumulation and distribution of Cr、Ni and Mn in *Avicennia marina* community

组 分 Fraction	生物量 Biomass		Cr		Ni		Mn	
	g·m ⁻²	%	μg·m ⁻²	%	μg·m ⁻²	%	mg·m ⁻²	%
叶 Leaf	551.34	3.32	208.96	3.45	537.56	2.59	151.07	9.26
花 Flower	1.66	0.01	0.64	0.01	1.96	0.01	0.18	0.01
幼枝 Twig	238.33	1.44	92.47	1.53	255.01	1.22	21.14	1.30
多年枝 Perennial branch	3505.35	21.14	1342.55	22.15	1899.90	9.15	86.93	5.33
死枝 Dead branch	796.43	4.80	176.01	2.90	645.90	3.11	25.49	1.56
树干材 Trunk wood	5330.01	32.14	1465.75	24.18	2265.25	10.91	141.25	8.66
树干皮 Trunk bark	281.98	1.70	138.45	2.28	882.60	4.25	80.93	4.96
呼吸根 Pneumatophore	365.92	2.21	223.94	3.69	2722.44	13.11	567.91	34.82
大根 Big root	2186.20	13.18	765.17	12.62	1904.18	9.17	62.09	3.81
中根 Middle root	3054.18	18.42	1450.74	23.93	7574.37	36.48	305.11	18.70
细根 Fine root	268.63	1.62	196.10	3.24	2055.02	9.90	184.55	11.31
小苗 Seedling	3.85	0.02	1.36	0.02	20.10	0.10	4.52	0.28
地上部 Aboveground	11074.87	66.78	3650.13	60.21	9230.72	44.45	1079.42	66.18
地下部 Underground	5509.01	33.22	2412.01	39.79	11533.57	55.55	551.75	33.82
总计 Total	16583.88	100.00	6062.14	100.00	20764.29	100.00	1631.17	100.00

量的 9.3%。

从生态系统食物链而言,地下根和质地较坚硬的树干材和多年生枝,是不易被动物直接利用的组分,此 3 项的累积量之和 Cr、Ni、Mn 分别占总量的 86.1%、75.6%和 47.8%;另一方面,该群落 Cr、Ni、Mn 现存累积量中,较易直接提供给动物利用的量分别占总量的 13.9%、24.4%和 52.2%。

3.3.2 群落 Cr、Ni、Mn 年净存留累积量

由群落年生长量和各组分元素含量计算

分布看,根系生物量所占比例为 35.5%,而 Cr、Ni、Mn 分布量则分别占 43.5%、68.7%和 68.6%;树干和树枝生物量也较大,分别占 33.8%和 27.4%,而 Ni、Mn 分布量仅占 8~15%,Cr 贮量比也低于生物量比;叶、花因生物量小(占 3.3%),Cr、Ni 分布量也只占 2.6~3.5%,但 Mn 则占总

(表 5),福田白骨壤林一年内吸收而净存留在植物体内 Cr、Ni、Mn 年累积量分别为 0.43、1.43 和 107.98mg·m⁻²,其中根系累积量居最大,分别占 37.1%、60.7%和 63.0%,再者幼枝各占 21.4%、17.9%和 19.6%,Cr 多年生枝和树干材各占 18.9%和 20.6%,其余组分在 10%以下。

3.4 林地残留物 Cr、Ni、Mn 含量及贮量

从表 6 可知,福田白骨壤林地残留物中,Mn 含量为残留叶> 残留枝,Cr 为残留枝> 残留叶,Ni 含量两者相近。与植物体

相应组分鲜叶和枝条(图 1)相比,残留叶及残留枝 Ni、Mn 含量远高于植物体鲜叶及枝条,Cr 含量残留物也较高,如 Ni、Mn 含量残留叶分别是鲜叶的 11.6 和 13.7 倍,残留枝分别是多年枝的 21.6 和 102.9 倍.残留物含浓度较高的重金属,主要因为它们直接接触海水和土壤,吸附了环境中的重金属之故.林鹏等^[7]对红树秋茄落叶及残留叶对 Hg 的模拟实验也表明对 Hg 有明显的吸附作用.这对以残留物为食的林区动物较为不利,但富载重金属等污染物的残留物,不时随潮流向外海漂移扩散,减少了污染物在河口红树林区的累积和再循环,则起到净化河口生态环境的作用.

根据残留物元素含量结合残留物量计算(表 6),该林区残留物, Cr、Ni、Mn 的潜在表 5 白骨壤群落 Cr、Ni、Mn 年净存留累积量(1993)

Table 5 Annual net retention accumulation of Cr, Ni and Mn in *Avicennia marina* community(1993)

组 分 Fraction	增长量 Increment		Cr		Ni		Mn	
	g · m ⁻²	%	μg · m ⁻²	%	μg · m ⁻²	%	mg · m ⁻²	%
幼枝 Twig	238.33	20.73	92.47	21.42	255.01	17.85	21.14	19.58
多年枝 Perennial branch	213.06	18.54	81.60	18.90	115.48	8.09	5.28	4.89
树干材 Trunk wood	323.96	28.18	89.09	20.63	137.68	9.64	8.59	7.95
树干皮 Trunk bark	17.14	1.49	8.42	1.95	53.65	3.76	4.92	4.56
树根 Root	357.09	31.06	160.22	37.10	866.50	60.66	68.05	63.02
总计 Total	1149.58	100.00	431.80	100.00	1428.32	100.00	107.98	100.00

表 6 白骨壤群落林地残留物 Cr、Ni、Mn 的含量及贮量

Table 6 Content and storage of Cr, Ni and Mn in residues of *Avicennia marina* forestland

组分 Fraction	残留物 Residues		含量 Content(μg · g ⁻¹)			贮量 Storage					
	g · m ⁻²	%	Cr	Ni	Mn	Cr		Ni		Mn	
						μg · m ⁻²	%	μg · m ⁻²	%	mg · m ⁻²	%
残留叶 Residal leaf	56.15	42.30	0.527	11.4	3741	29.59	37.94	640.11	41.66	210.06	51.80
残留枝 Residal branch	76.60	57.70	0.632	11.7	2552	48.41	62.06	896.2	58.34	195.48	48.20
总计 Total	132.75	100.00				78.00	100.00	1536.33	100.00	405.54	100.00

表 7 3 种红树群落叶片 Cr、Ni、Mn 的含量及累积贮量

Table 7 Content and storage of Cr, Ni and Mn in leaves of three mangrove communities

群 落 Community	生活型 Life form	树 高 Height (m)	叶面积 指 数 LAI	叶生物量 Leaf biomass (g · m ⁻²)	含量 Content			累积量 Accumulated amount		
					Cr (μg · g ⁻¹)	Ni (μg · g ⁻¹)	Mn (μg · g ⁻¹)	Cr (μg · m ⁻²)	Ni (μg · m ⁻²)	Mn (mg · m ⁻²)
白骨壤 <i>Avicennia marina</i>	乔木 Arbor	6.5 ~ 7.0	4.53	551.34	0.379	0.975	274	208.96	537.56	151.07
秋 茄 <i>Kandelia candel</i>	乔木 Arbor	6.5 ~ 7.0	2.00	279.58	0.209	0.854	1098	58.43	238.76	306.98
桐花树 <i>Aegiceras cor niculatum</i>	灌木 Shrub	1.5 ~ 2.0	6.95	666.40	0.158	0.528	130	105.29	351.86	86.63

在贮量分别为 78.00 μg · m⁻²、1 536.33 μg · m⁻²和 405.54 mg · m⁻²,其中残留叶中贮量分别占 37.9%、41.7%和 51.8%,残留枝中分别占 62.1%、58.3%和 48.2%.

3.5 不同类型群落叶层 Cr、Ni、Mn 含量及累积量

福田红树林保护区群落类型以白骨壤林、秋茄林和桐花树林为主.群落叶层既是鸟、虫、蟹等动物的主要啃食对象,同时叶片年年更新,是系统物质循环最活跃的动态层.从表 7 可知,车公庙林区 3 种类型群落叶片 Cr、Ni、Mn 含量有显著差异,Cr、Ni 含量白骨壤叶分别比秋茄叶高 81.4%和 14.2%、比桐花树叶高 139.9%和 84.7%;Mn 含量则秋茄叶分别比白骨壤

叶和桐花树叶高 300.7% 和 744.6% . 这表明在该林区生境综合条件下, 不同植物叶对元素的吸收累积能力不同, Cr、Ni 为白骨壤> 秋茄> 桐花树, Mn 则为秋茄>> 白骨壤> 桐花树.

根据叶片元素含量结合群落叶生物量计算, 各群落叶层 Cr、Ni、Mn 现存累积量(表 7): Cr、Ni 为白骨壤林> 桐花树林> 秋茄林, 其中 Cr 白骨壤林分别是后二者的 2.0 和 3.6 倍, Ni 分别是 1.5 和 2.3 倍, Mn 则为秋茄林> 白骨壤林> 桐花树林, 秋茄林分别是后二者的 2.0 和 3.5 倍.

致谢 李振基、杨志伟、林益民和胡宏友参加野外工作, 同时还得到福田自然保护区陈相如等的热情支持和帮助. 在此谨表谢忱!

参考文献

1 中国科学院南京土壤研究所. 1978. 土壤理化分析.

上海: 上海科学技术出版社, 62~272.
 2 阿努钦. 1957. 测树学(中译本). 北京: 中国林业出版社, 105~323.
 3 林 鹏. 1984. 红树林. 北京: 海洋出版社, 30~102.
 4 郑文教、林 鹏、薛雄志等. 1995. 广西红海榄红树林 C、H、N 的动态研究. 应用生态学报, 6(1): 17~22.
 5 范航清. 1993. 成立“中国红树林研究中心”的必要性和中心的任务. 广西科学院学报, 9(2): 122~129.
 6 郑逢中、林 鹏、郑文教等. 1992. 秋茄对镉的吸收、累积及净化作用的研究. 植物生态学与地植物学学报, 16(3): 220~226.
 7 林 鹏、郑文教. 1986. 中国红树植物秋茄、海莲的生长量研究. 植物学报, 28(2): 224~228.
 8 林 鹏、陈荣华. 1989. 九龙江口红树林对汞的循环和净化作用. 海洋学报, 11(2): 242~247.
 9 Teas, H. J. 1979. Silviculture with saline water. In: The Biosaline Concept (Hollaender, A. ed). Plenum Publishing Corporation, New York, 117~161.
 10 Tripp, M. and R. C. Harriss. 1976. Role of mangrove vegetation in mercury cycling in the Florida Everglades. *Environmental Biogeochemistry*, 2: 489~495.